

VŠB – Technická universita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

**Návrh pneumatického obvodu pro otevírání
bočních dveří nákladního vagónu**

Design of Pneumatic Mechanism for Opening of
Wagon Side Gate

Student:

Adam Urbanec

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Lukáš Dvořák Ph.D.

Ostrava 2010

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Zadání bakalářské práce

Student:

Adam Urbanec

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2302R007 Hydraulické a pneumatické stroje a zařízení

Téma:

Návrh pneumatického obvodu pro otvírání bočních dveří nákladního
vagonu

Design of Pneumatic Mechanism for Opening of Wagon Side Gate

Zásady pro vypracování:

Navrhněte pneumatický pohon pro ovládání bočních dveří vagonu pro transport sypkých hmot. Systém musí být plně funkční i v případě extrémních klimatických podmínek, zejména při teplotách pod bodem mrazu ($-30^{\circ}\text{C}/+80^{\circ}\text{C}$). Každý vagon má čtyři boční výklopné dveře, z nichž každé se přes pákový mechanismus otevírají pomocí pneumatického dvojčinného válce. Zdvih válců je 350 mm, osová síla $F=7500\text{N}$. Ovládací tlak vzduchu min. 0,5 - max. 1 MPa. Dveře jsou za jízdy blokovány, tato funkce však není předmětem návrhu. Ovládání je prováděno z ovládacího panelu umístěného na čele vagonu. Možnosti ovládání: 1) každá strana (dvojice dveří) nezávisle, 2) obě strany (všechny dveře) současně.

Vypracujte následující body:

1. Popište řešenou problematiku.
2. Navrhněte pneumatický obvod pro zajištění požadovaných funkcí.
3. Provedte simulaci funkce obvodu v programu Automation Studio a praktické ověření v laboratoři.
4. Navrhněte a specifikujte jednotlivé prvky z výrobního programu firmy Parker Hannifin.

Seznam doporučené odborné literatury:

KOPÁČEK, J. *Pneumatické mechanismy díl 1. – Pneumatické prvky a systémy*. Ostrava: VŠB-TUO, 1996. 267 s. 1. vydání. ISBN 80-7078-306-0
BEATER, P. *Pneumatic drives: system design, modelling and control*. Berlin: Springer, 2007. 323 pp. ISBN 978-3-540-69470-0
DOSTÁL, J.; HELLER, P. *Kolejová vozidla I*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2007. 119 s. ISBN 978-80-7043-520-5
Katalogy a podklady firmy Parker Hannifin

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lukáš Dvořák, Ph.D.**

Konzultant bakalářské práce: Dr. Ing. Radim Olšovský

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010



doc. RNDr. Milada Kozubková, CSc.
vedoucí katedry

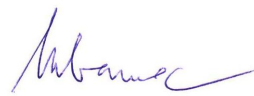


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 18.5.2010



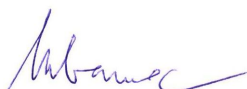
.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 18.5.2010


.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Adam Urbanec

Adresa trvalého pobytu autora práce: 2.května 629, Studénka, 74213

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Lukáši Dvořákovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a metodické vedení práce.

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

URBANEC, A. *Návrh pneumatického obvodu pro otevírání bočních dveří nákladního vagónu : bakalářská práce.* Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2010, 48s. Vedoucí práce: Ing. Lukáš Dvořák Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá návrhem pneumatického obvodu pro otevírání bočních dveří nákladního vagónu. V první části jsem se zaměřil na popis a konstrukci vagónu, pro který obvod navrhuji. Dále jsem rozepsal alternativní způsoby ovládání dveří vagónu. V druhé části jsou uvedeny všechny výpočty potřebné k návrhu pneumatického obvodu, dvě varianty návrhu pneumatického obvodu a specifikoval jsem použité pneumatické prvky. Vytvořený pneumatický obvod je dokumentován v příloze bakalářské práce.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

URBANEC, A. *Design of Pneumatic Mechanism for Opening of Wagon Side Gate : Bachelor Thesis.* Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydromechanics and Hydraulics Mechanism, 2010, 48p. Thesis head: Ing. Lukáš Dvořák Ph.D.

Bachelor thesis is dealing with design of Pneumatic Mechanism for Opening of Wagon Side Gate. In the first part I aim on description of wagon construction for which the circuit is designed. Next I wrote alternative control of wagon side gates. In the second part there are all necessary calculations for circuit design, two variants of pneumatic mechanism design and specification of pneumatic components. Design of pneumatic mechanism is documented in the enclosure of the bachelor thesis.

Obsah

1	Úvod.....	10
2	Základní informace	10
2.1	Konstrukce vozu	10
2.2	Manipulace s bočními výsypnými klapkami (pneumaticky)	12
3	Alternativní způsob otevírání bočních dveří	13
3.1	Ruční ovládání	13
3.2	Hydraulické ovládání	15
4	Nejpoužívanější typy vozů, které využívají pneumatické otevírání bočních dveří.....	16
5	Výpočty potřebné k návrhu	18
5.1	Výpočet průměru pístu.....	18
5.2	Výpočet průtoku pro dva motory	19
5.3	Přepočet na normální stav	20
5.4	Výpočet potrubí	21
6	Návrh pneumatického obvodu	21
6.1	Návrh první varianty obvodu	21
6.1.1	Názvy použitých prvků.....	24
6.1.2	Popis funkce obvodu	25
6.1.3	Kontrola propustnosti obvodu	26
6.1.4	Výpočet teoretického času otevření dveří	27
6.1.5	Simulace v programu Automation Studio	28
6.2	Návrh druhé varianty obvodu	30
6.2.1	Názvy použitých prvků.....	32
6.2.2	Popis funkce obvodu	33
6.2.3	Simulace v programu Automation Studio	34
6.3	Zhodnocení	36
7	Specifikace použitých prvků	36
7.1	Pneumomotor.....	36
7.2	Rozváděč.....	37
7.3	Řídicí ventil.....	37

7.4	Logický prvek „OR“	38
7.5	Jednosměrný škrticí ventil	39
7.6	Jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu	39
7.7	Vedení	40
7.1	Propojení od zdroje tlaku až k válcům.....	40
7.1.1	Silová část.....	41
7.1.2	Řídicí část	44
8	Závěr.....	46
9	Seznam použité literatury	47
10	Seznam příloh.....	48

Seznam použitého značení

D	Ø pístu pneumomotoru	[m]
F _z	Užitečné zatížení pístu	[N]
H	Pracovní zdvih pneumatického válce	[m]
Q	Objemový průtok	[m ³ .s ⁻¹]
Q _{Nmax}	Průtok za normálních podmínek a maximální teplotě	[m ³ .s ⁻¹]
Q _{Nmin}	Průtok za normálních podmínek a minimální teplotě	[m ³ .s ⁻¹]
Q _{Nne}	Ekvivalentní náhradní průtok	[dm ³ .min ⁻¹]
Q _P	Objemový průtok při pracovním tlaku	[m ³ .s ⁻¹]
Ro	Součet pasivních odporů od tření pístu a pístnice	[N]
S	Pracovní plocha pístu	[m ²]
T _{max}	Maximální pracovní teplota	[K]
T _{min}	Minimální pracovní teplota	[K]
T _N	Normální teplota	[K]
a	Součinitel zatěžující síly	[-]
d	Ø pístnice pneumomotoru	[m]
d _v	Ø vedení	[mm]
p ₁	Vstupní přetlak vzduchu	[Pa]
p ₂	Výstupní přetlak vzduchu	[Pa]
p _{at}	Atmosférický tlak	[Pa]
p _N	Normální tlak	[Pa]
t	Požadovaný čas otevření (zavření) dveří	[s]
t _s	skutečný čas otevření dveří	[s]
v	minimální rychlost pro otevření dveří	[m.s ⁻¹]
v _s	Skutečná rychlost vysouvání pístnic	[m.s ⁻¹]
v _v	Rychlost průtoku stlačeného vzduchu	[m.s ⁻¹]
π	Ludolfovo číslo	[-]

1 Úvod

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout pneumatický obvod pro otevírání bočních dveří nákladního vagónu. Při návrhu jsem vycházel z dostupných informací, které jsem našel na internetu, v interních sbornících Českých drah a skript. Měl jsem příležitost konzultace s technologem opravárenského podniku železničního vozu. Díky ní jsem poznal konstrukci vozu a rozmístění jednotlivých ovládacích prvků. Taky mi bylo objasněno, jak funguje pneumatická část pro ovládání bočních dveří. Tyto informace jsem poté využil k návrhu pneumatického obvodu.

Využití stlačeného vzduchu je nejpoužívanější způsob pro otevírání bočních dveří nákladních vlaků, které převážejí sypké hmoty nebo uhlí. Protože má systém pracovat ve velkém rozsahu teplot (rozsah pracovních teplot byl v průběhu tvorby práce změněn) věnoval jsem výběru vhodných prvků velkou pozornost.

2 Základní informace

Na konci 20. století se přeprava uhlí na železnicích zvýšila několikanásobně. Důvodem byla rostoucí spotřeba elektráren, hutí a tepláren. Největší objemy uhlí byly přepravovány ve vozech, které se vyprazdňovaly bez nutnosti speciálních čelních nebo rotačních výklopníků. Vyprazdňování se provádělo vlastní vahou nákladu.

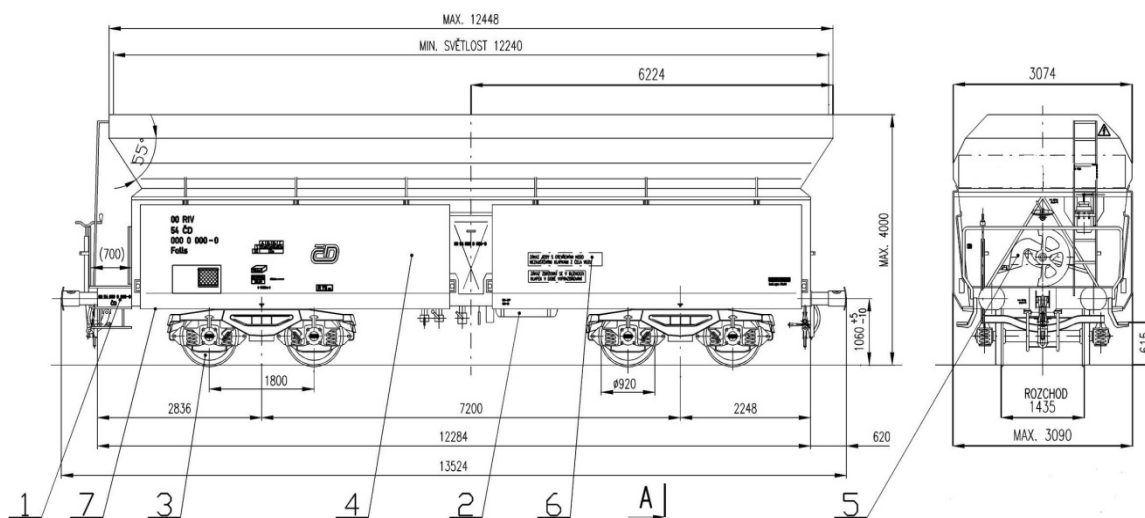
Pneumatické otevírání bočních dveří se v současnosti, ale i v minulosti využívalo na mnoha typech nákladních vozů. Tyto vozy se vyskytují v nejrůznějších úpravách a provedeních – podle požadavku na provoz. Požadavky se liší s ohledem na mezinárodní a vnitrostátní provoz, bezpečnost a technické provedení. Nejpoužívanější typy vozu popíšu v kapitole 4.

2.1 Konstrukce vozu

České dráhy provozují ve svém vozovém parku čtyřnápravové výsypné železniční vozy řady Falls 11.

Skříň vozu je svařovaná konstrukce, která se skládá se z tvarových bočních stěn s výsypnými otvory, tvarových čelních stěn, středního příčnicku a střešovitě podlahy. Celá kostra skříňe je vyrobena z válcovaných ocelových profilů a společně s kostrou podvozku tvoří jeden nosný celek. Skříňové obložení je provedeno z ocelových plechů

tloušťky 4mm. Kostra spodku vozu je svařená z válcových a ohýbaných profilů a plechů pásové ocele. Nejvhodnější tvar podlahy se stal tvar W.

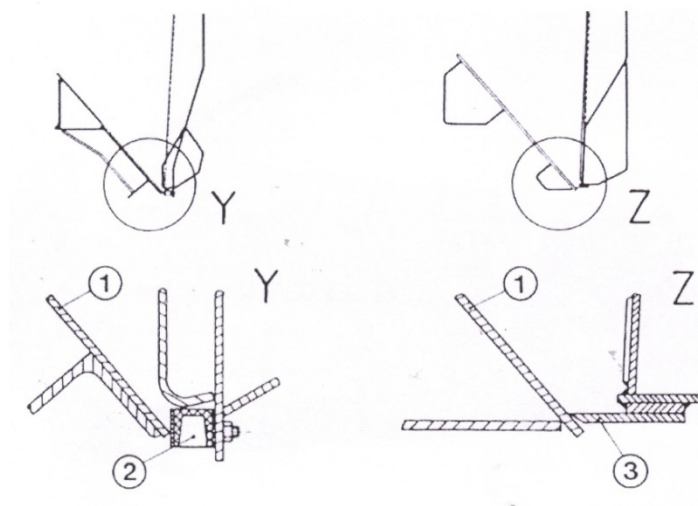


Obr. 1 Výkres vozu

1 – brzdářská plošina, 2 – brzda, 3 – podvozek, 4 – skříň, 5 – výsypný mechanismus,

6 – nátěry a nápisy

Vagonová skříň je rozdělena pomocí křížové vložky na dvě samostatné komory. Tato vložka má ve své spodní části dva výstupní otvory, které se zavírají pomocí stabilních bočních dveří. Uchycení dveří je zajištěno pomocí dvou společných kloubových ložisek. Výztuhy klapky jsou zhotoveny z 6mm tlustého plechu. Těsnění dveří je provedeno pomocí řezné těsnící lišty z nerezové oceli, která vystřídala dřívější těsnění dveří, což bylo pomocí pryžového těsnění. Provedení těsnění je znázorněno na obr.2. Důvodem změny pryžového těsnění za řeznou těsnící lištu nebyla nedostatečná těsnost pryže, ale fakt zjištěný z provozu. Docházelo totiž k nalepení přepravovaného substrátu na těsnění a následnému nedovření dveří. Břit řezné těsnící lišty lehce pronikl přes ulpělý substrát a dveře mohly být dovřeny. Utěsnněním dveří dosáhneme také snížení znečištění kameniny železničního lóže a také proniknutí dešťové vody do nákladu.



Obr. 2 Utěsnění výklopných klapek

1 – dosedací lišta, 2 – pryžové těsnění, 3 – těsnící lišta z nerezové oceli

V každé boční stěně jsou tedy vždy dvojce výsypné dveře svařované z ocelových profilů a plechů, obložené plechem tloušťky 4 mm. K ovládání bočních výsypných dveří se používá pneumatický mechanismus (samostatně jeden vůz nebo najednou celá souprava) nebo ruční (mechanické) ovládání. Pro oba způsoby jsou ovládací prvky umístěny na brzdářské plošině, která je na čele vozu. Po otevření výklopných dveří se vyprazdňování vozu děje samostatně vlastní vahou nákladu, najednou, vně koleje. V uzavřené poloze jsou boční dveře blokovány pojistným kolíkem, který je v zasunuté poloze kontrolou dokonalého uzavření dveří.

2.2 Manipulace s bočními výsypnými klapkami (pneumaticky)

Pro mechanismus pneumatického ovládání výsypných dveří je tlakový vzduch čerpán z trakčního vozidla nebo z jiného zdroje tlakového vzduchu zvláštním průběžným potrubím (nikoli brzdovým), ukončeným na čelech vozu hadicovou spojkou označenou žlutou barvou. Vůz se připojí ke zdroji stlačeného vzduchu (žlutá spojka). Chceme-li vyložit skupinu vozů, musíme propojit žluté spojky průběžného vzduchového potrubí na všech vozech. Koncový kohout na posledním vozu musí být uzavřen.

Postup pro otevírání klapek pneumaticky, je následující:

- vytáhnout pojistný kolík ovládacích táhel
- blokovací páku dát do polohy nedovolující nasazení ovládací páky ručního ovládání
- odjistit a sklopit rukojeť ovládacího ventilu a pootočit do polohy „otevřeno“

Postup pro zavírání klapek pneumaticky, je následující:

- blokovací páka musí být v poloze nedovolující nasazení ovládací páky ručního ovládání a západka nesmí být v záběru pomocné rohatky hřídele ručního ovládání
- rukojeť ovládacího ventilu pootočit přes střední polohu do polohy „zavřeno“
- rukojeť ovládacího ventilu pootočit do střední polohy.
- sklopit a zajistit
- mechanismu zajistit v uzavřené poloze

3 Alternativní způsob otevírání bočních dveří

3.1 *Ruční ovládání*

Ruční ovládání výsypných klapek se provádí bezpečnostní ovládací pákou přes ozubený převod na centrální hřídeli. Ovládání jinou pákou je zakázáno, z důvodu bezpečnosti obsluhy. Ovládání ručního a pneumatického zařízení je provedeno tak, že při použití ručního mechanismu je blokováno pneumatické a naopak. Otevírají se všechny čtyři klapky najednou. Toto ovládání se dá použít pouze na jeden vůz.

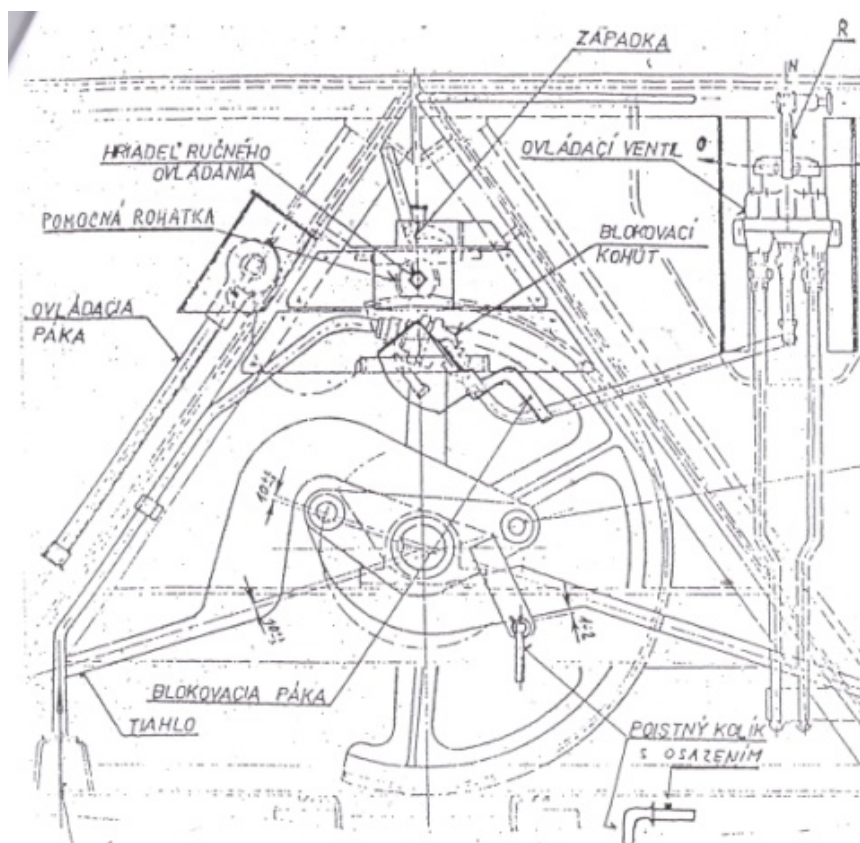
Postup pro otevírání klapek ručně, je následující:

- vytáhnou pojistný kolík ovládacích táhel
- západku zasunout do záběru pomocné rohatky
- blokovací páka musí být v poloze, která dovoluje nasunutí ovládací páky
- překontrolovat funkci ovládací páky a nasunout jí na čtyřhran hřídele z pravé strany plošiny tak, aby vpředu byla červená strana páky označena „0“
- otevírání kývavým pohybem páky až do krajní polohy otevření klapek

Postup pro zavírání klapek ručně, je následující:

- klapky musí být otevřeny úplně až do krajní polohy
- ovládací páku nasunout na čtyřhran hřídele z levé strany tak, aby vpředu byla žlutá strana páky označená „Z“
- západku vysunout ze záběru pomocné rohatky
- zavírat kývavým pohybem páky při zasunuté západce na ovládací páce
- v uzavřené poloze zajistit mechanismus pojistným kolíkem s osazením

Při ručním otevírání je nutné vždy klapky otevřít až do krajní polohy. Zavírání zase provádět z krajní otevřené samosvorné polohy. Klapky ovládá jeden pracovník, který musí být proškolený. Jiné osoby se nemůžou zdržovat na plošině nebo v blízkosti výsypných klapek v době manipulace s ovládáním mechanismu (otevírání – zavírání). Stručný návod jak ovládat výsypné klapky je uveden na každém vozu. Podrobnější informace nalezneme v [2].



Obr. 3 Mechanismu ovládání bočních klapek

3.2 *Hydraulické ovládání*

Hydraulické ovládání bočních klapek není příliš časté, vzhledem k výhodám pneumatických mechanismů. Mezi tyto výhody můžeme jmenovat:

- není potřeba zpětného vedení, odfuk do atmosféry
- čisté provozní prostředí
- stlačený vzduch není tak výrazně ovlivňován teplotou jako kapaliny hydraulických mechanismů, proto může pneumatický mechanismus pracovat ve větším rozsahu teplot

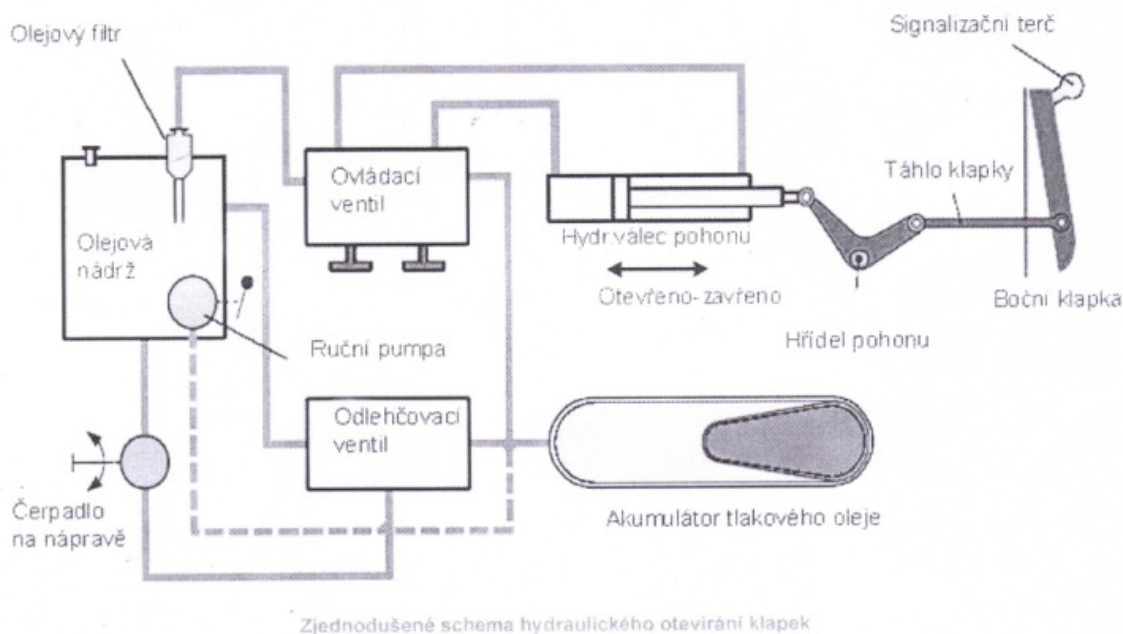
Hydraulické ovládání bočních klapek využívají např. vozy Falns 121, které používají některé německé železniční společnosti. Otevírání i zavírání bočních klapek se tedy děje hydraulicky. Tímto ovládáním můžeme taky otevírat a zavírat střechu vozu, která slouží k násypu suroviny do vozu. Podle [3] jsou vozy vybaveny:

- Mechanické čerpadlo
- Kompletní hydraulické zařízení
- Pístový akumulátor
- Ovládaný válec
- Uzavírací válec
- Válec pro ovládání střechy
- Dvojčinné ruční čerpadlo (nouzové)
- Odvětrávací filtr a filtr zpětného chodu
- Ventily (jednosměrný, pojistný, 9/3 cestný, škrticí, uzavírací, 6/3 cestný ventil, redukční, ručně ovladatelný, kulový ventil, tlakový)

Pomocí čerpadla je olej dopravován do pístového akumulátoru. Při dosažení provozního tlaku (cca 22,5MPa) se čerpadlo zavře. Při sepnutí hydraulického systému se nejdříve zavře pojistný ventil. Teprve pak může olej proudit rozvodovým ventilem a dotykovým válcem. Pro hydraulické ovládání klapek jsou dvě různé možnosti ovládání:

- Ovládání ze strany kolej (pomocí čtyřhranného klíče)
- Ovládání z brzdářské plošiny vozu (tlačítka, páky, nožní pedál)

Zjednodušeně se dá říct, že na nápravě je hydraulické čerpadlo, které za jízdy vozu tlakuje akumulátor tlakového oleje. Z tohoto akumulátoru lze vůz bez dalších přivedení energie 2-3x otevřít a zavřít.



Obr. 4 Zjednodušené schéma hydraulického otevírání bočních klapek

4 Nejpoužívanější typy vozů, které využívají pneumatické otevírání bočních dveří

V této kapitole se zaměřím na vozy, kterými disponují železniční podniky v zemích s dlouholetou tradicí těžby uhlí a její přepravy. Vzhledem k velkým zásobám této cenné suroviny se vozy budou používat ještě několik desetiletí.

Falns 164, 165, 180, 183 - Tyto typy vozů byly převzaty od železnice Německé demokratické republiky při sjednocení Německa. Mají pneumaticky ovládané otevírání klapek (pouze všech čtyřech klapek najednou). V druhé polovině 70.let minulého století byly zahájeny dodávky vozů řady Falns 180, 183. U těchto vozů došlo ke zlepšení užitečných vlastností, byly vybaveny pryžovým těsněním bočních dveří a hlavně otevírání a zavírání bočních klapek se dělo hydraulicky.

Falns 121- Tyto vozy byly zkonstruovány v 90. letech minulého století na základě zvýšení technických parametrů. Snížení hmotnosti vozu, zvýšení objemu vozu na 90 m³,

snížení provozních nákladů o 30%, optimalizace systému otevírání klapek. Skříň vozu je tvořená převážně z konstrukční oceli, ale těsnicí lišta klapek, část klapek a přiléhající část skluzy jsou vyrobeny z nerezové oceli. Otevírání vozu je hydraulické.

Falls 9-401.0 - Tyto vozy mají pneumatické ovládání klapek (všech čtyřech klapek najednou) a dále nouzové ruční ovládání. Pneumatický mechanismus je napájen ze samostatného zdroje průběžným vzduchovým potrubím. Výklopné dveře tedy nelze otevřít bez připojení zdroje tlaku.



Obr. 5 Falls 9

Falns 440V, 441/449V - Typ vozů Falns 440V jsou ve dvou provedeních klapek. Jsou vybaveny pneumatickým otevíráním všech čtyř klapek a ručním otevíráním. Od roku 2005 byly zahájeny dodávky dalšího vylepšeného vozu typu Falns 441V a téměř shodný typ 449V. Vozy mají opět pneumatické otevírání všech čtyř klapek najednou a ručně lze otevřít klapky po dvojicích.



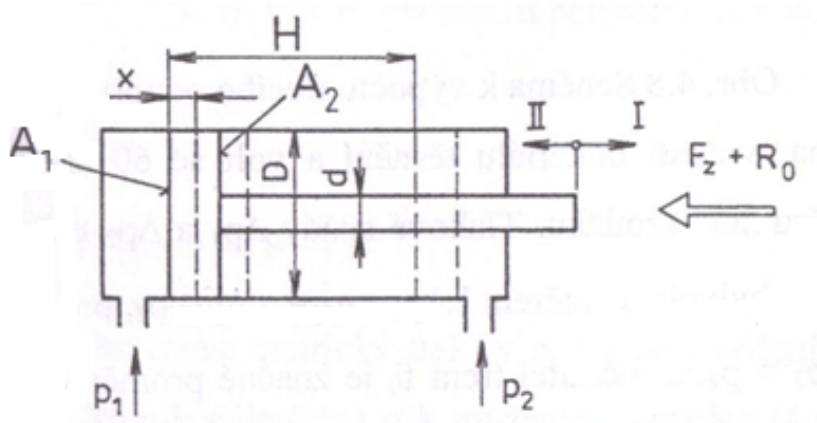
Obr. 6 Falns 440V

Technické parametry vozů a jejich náročnost na údržbu mají velký vliv na efektivitu a ekonomiku provozu. Vyžadují, ale velké počáteční investice. Více informací o nejpoužívanějších voze uvádí literatura [1].

5 Výpočty potřebné k návrhu

5.1 Výpočet průměru pístu

Každý vagón má čtyři výklopné dveře, z nichž každé se přes pákový mechanismus otevírají pomocí pneumatického dvojčinného válce. Zdvih válců je 350mm, osová síla $F_Z = 7500N$. Ovládací tlak vzduchu min. 0,5 – max. 1MPa. Výpočet je proveden na minimální požadovanou hodnotu tlaku, tedy 0,5MPa. Potřebné geometrické parametry dvojčinného motoru s jednostrannou pístnicí jsou v obr. 7.



Obr. 7 Schéma k výpočtu přímočarého motoru

Rovnice silové rovnováhy pro kruhový průřez pístu je

$$F_Z + R_o + p_2 \cdot \left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot (D^2 - d^2) = p_1 \cdot \left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot D^2 \quad (5.1)$$

kde F_Z je užitečné zatížení, R_o je součet pasivních odporů tření těsnění pístu a pístnice, p_1 a p_2 je vstupní a výstupní přetlak vzduchu, D a d jsou průměry pístu a pístnice.

Výpočet pasivních odporů R_o se s dostatečnou přesností nahrazuje jistou částí zatěžující síly F_Z pomocí součinitele a dle [4], což můžeme vyjádřit vztahem

$$R_o = a \cdot F_Z \quad (5.2)$$

Součinitel a se volí 0,1 až 0,3.

Výpočet můžeme dále zjednodušit předpokladem, že tlak na odpadní straně motoru, tj. tlak p_2 při směru pohybu I, obr. 7, bude blízký tlaku atmosférickému $p_2 = p_{at} = 0$.

Rovnice pak bude mít tvar

$$F_Z \cdot (1 + a) = p_1 \cdot \left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot D^2 \quad (5.3)$$

kde p_1 je přetlak vzduchu (manometrický tlak) v přívodním vedení k motoru (vstupní tlak do motoru).

Průměr pístu D

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F_Z \cdot (1 + a)}{p_1 \cdot \pi}} \quad (5.4)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 7500 \cdot (1 + 0,2)}{5 \cdot 10^5 \cdot \pi}}$$

$$D = 0,15139m$$

Z katalogu firmy Parker jsem vybral průměr pístu nejbližší vyšší vypočtené hodnotě, tj $\varnothing D = 160mm$ a $\varnothing d = 40mm$.

5.2 Výpočet průtoku pro dva motory

Průtok pro dva motory spočítáme z rovnice kontinuity.

$$Q = 2 \cdot S \cdot v \quad (5.5)$$

kde S je pracovní plocha pístu a v je minimální rychlost pro otevření dveří do 10 sekund. Požadovaný čas otevření všech dveří je 10 s a požadovaný čas zavření všech dveří je 10 s.

$$v = \frac{H}{t} \quad (5.6)$$

$$v = \frac{0,35}{10} = 0,035 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Po dosazení:

$$Q = 2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} \right) \cdot v \quad (5.7)$$

$$Q = 2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 0,16^2}{4} \right) \cdot 0,035$$

$$Q = 0,001407 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

5.3 Přepočet na normální stav

Představuje množství vzduchu, které vyplňuje objem 1 m^3 při normálním, tj. atmosférickém tlaku $p_N = p_{at} = 100 \text{ kPa}$ a normální teplotě $T_N = 293 \text{ K}$ (20°C). Pro přepočet využijeme stavovou rovnici.

- pro minimální teplotu, při které má systém pracovat $T_{min} = 253 \text{ K}$ (-20°C)

$$Q_{Nmin} = Q \cdot \frac{p_a}{p_N} \cdot \frac{T_N}{T_{min}} = Q \cdot \frac{p_{at} + p}{p_N} \cdot \frac{T_N}{T_{min}} \quad (5.8)$$

$$Q_{Nmin} = 0,001407 \cdot \frac{6 \cdot 10^5}{1 \cdot 10^5} \cdot \frac{293}{253}$$

$$Q_{Nmin} = 0,009776 \text{ m}_N^3 \cdot \text{s}^{-1} \equiv 9,776 \text{ dm}_N^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

- pro maximální teplotu, při které má systém pracovat $T_{max} = 333 \text{ K}$ (60°C)

$$Q_{Nmax} = Q \cdot \frac{p_a}{p_N} \cdot \frac{T_N}{T_{max}} = Q \cdot \frac{p_{at} + p}{p_N} \cdot \frac{T_N}{T_{max}} \quad (5.9)$$

$$Q_{Nmax} = 0,001407 \cdot \frac{6 \cdot 10^5}{1 \cdot 10^5} \cdot \frac{293}{333}$$

$$Q_{Nmax} = 0,00743 \text{ m}_N^3 \cdot \text{s}^{-1} \equiv 7,43 \text{ dm}_N^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

Z výpočtu je patrné, že největší průtok vzduchu bude při minimální teplotě.

5.4 Výpočet potrubí

Výpočet se provádí tak, že pro průtok Q v daném úseku potrubí a zvolenou rychlost průtoku stlačeného vzduchu v_v se vypočte vnitřní průměr (světlost) potrubí d_v . Do výpočtu dosazujeme průtok Q v $m^3 \cdot h^{-1}$ a zvolenou rychlost v_v v $m \cdot s^{-1}$.

- Rychlost se volí v pneumatický ovládacích obvodech $v_v = 20 \text{ až } 40 m \cdot s^{-1}$

$$d_v = 18,8 \cdot \sqrt{\frac{Q}{v_v}} \quad (5.10)$$

$$d_v = 18,8 \cdot \sqrt{\frac{5,0652}{20}}$$
$$d_v = 9,46 mm$$

Z katalogu firmy Parker jsem zvolil průměr vedení, které je neblíží vyšší k vypočtené hodnotě. Nylonové vedení s vnitřním $\varnothing 10 mm$ a tloušťkou stěny $1 mm$.

6 Návrh pneumatického obvodu

Pneumatický obvod jsem se snažil navrhnout co nejjednodušší. Důležitým bodem v zadání bylo splnění podmínky, kde požadovaný čas pro otevření všech dveří je 10 sekund a požadovaný čas pro zavření všech dveří také 10 sekund. První obvod, který jsem navrhl, splňoval funkční požadavky, tedy možnost ovládání každé strany (dvojce dveří) nezávisle a možnost ovládání obou stran (všechny dveře) současně. Problém nastal v dodržení požadované doby otevření všech dveří. Musel jsem tedy navrhnout druhou variantu řešení.

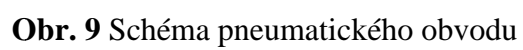
6.1 Návrh první varianty obvodu

Pneumatický obvod se skládá ze čtyř dvojčinných pneumomotorů, které jsou sdruženy do dvojic k ovládání dvou dveří na jedné nebo druhé straně. Každá dvojice pneumomotorů je řízená jedním dvupolohovým, třicestným rozváděčem ovládaným oboustranně pneumaticky. K seřízení rychlosti otevírání a zavírání dveří jsou před pneumomotory zapojeny dva jednosměrné škrticí ventily. Jsou zapojeny tak, aby rychlost

byla řízena škrcením vzduchu odváděného do atmosféry. Abychom dosáhli potřebné kvality stlačeného vzduchu (čistý vzduch a zbavený kondenzované vody) je v obvodu použita jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu, která se skládá z uzavíracího ventilu, filtru s odlučovačem, regulátoru tlaku a tlakoměru. Řídící část obvodu se skládá z šesti tlačítkových rozváděčů a čtyř ventilů s logickou funkcí OR, kterými se ovládají pneumomotory. Navržený pneumatický obvod jsem sestavil na trenažeru firmy SMC v laboratoři pneumatiky a prakticky jsem ověřil její funkčnost, obr 8. Schéma pneumatického obvodu je na obr. 9.



Obr. 8 Sestavený pneumatický obvod



6.1.1 Názvy použitých prvků

- 1.0, 2.0 Přímočarý pneumomotor s jednosměrnou pístnicí s oboustranným nastavitelným tlumením.
- 1.1, 2.1 Pěticestný dvupolohový (5/2) rozváděč, bistabilní, ovládaný oboustranně pneumaticky
- 1.01, 1.02 Jednosměrný škrticí ventil
- 2.01, 2.02 Jednosměrný škrticí ventil
- 1.2, 1.3 Třícestný dvupolohový (3/2) rozváděč, monostabilní, ovládaný tlačítkem, v klidové poloze uzavřený, klidová poloha zajištěna pružinou
- 1.6 (2.6) Třícestný dvupolohový (3/2) rozváděč, monostabilní, ovládaný tlačítkem, v klidové poloze uzavřený, klidová poloha zajištěna pružinou
- 1.7 (2.7) Třícestný dvupolohový (3/2) rozváděč, monostabilní, ovládaný tlačítkem, v klidové poloze uzavřený, klidová poloha zajištěna pružinou
- 2.2, 2.3 Třícestný dvupolohový (3/2) rozváděč, monostabilní, ovládaný tlačítkem, v klidové poloze uzavřený, klidová poloha zajištěna pružinou
- 1.4, 1.5 Logický prvek s funkcí “OR“ – třícestný ventil s jednosměrnou funkcí „bud’-nebo“
- 2.4, 2.5 Logický prvek s funkcí “OR“ – třícestný ventil s jednosměrnou funkcí „bud’-nebo“
- 0.1 Jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu skládající se z:
- regulátor tlaku
 - filtru s odlučovačem
 - tlakoměru
 - uzavíracího ventilu

6.1.2 Popis funkce obvodu

Pneumatický obvod (obr. 9) se skládá celkem ze čtyř přímočarých pneumomotoru. Každý motor ovládá jedny výklopné dveře, přičemž pneumomotory jsou sdruženy do dvojic (1.0 a 2.0) k otevírání dvou výklopných dveří na stranách vagónu. Každá dvojice pneumomotorů je ovládána dvoupolohovým rozváděčem (1.1 a 2.1). Rozváděče jsou řízeny oboustranně pneumaticky.

Pro otevření výklopných dveří na levé straně vagónu zmáčkne tlačítko rozváděče 1.2. Tlačítkový rozváděč se přestaví a řídicí signál prochází přes třicestný ventil 1.4 řídicím vstupem X. Rozváděč 1.1 se přestaví z výchozí polohy a dojde k vysouvání pneumomotorů 1.0 a otevření výklopných dveří. Pro zavření těchto výklopných dveří zmáčkne tlačítko rozváděče 1.3. Rozváděč se přestaví a řídicí signál prochází přes třicestný ventil 1.5 řídicím vstupem X. Rozváděč 1.1 se přestaví zpět do výchozí polohy a dojde k zasunutí pneumomotorů 1.0 a zavření dvou výklopných dveří.

Stejný postup platí pro ovládání výklopných dveří na pravé straně vagónu. Označení prvku je 2.X.

Pro otevření všech čtyř výklopných dveří vagónu zmáčkne tlačítko rozváděče 1.6, 2.6. Tlačítkový rozváděč se přestaví a řídicí signál prochází přes třicestné ventily 1.4 a 2.4 řídicím vstupem Y. Rozváděče 1.1 a 2.1 se přestaví z výchozích poloh a dojde k vysouvání všech pneumomotorů 1.0 a 2.0 a otevření výklopných dveří. Pro zavření výklopných dveří vagónu zmáčkne tlačítko rozváděče 1.7. Rozváděč se přestaví a řídicí signál prochází přes třicestný ventil 1.5 a 2.5 řídicím vstupem Y. Rozváděče 1.1 a 2.1 se přestaví zpět do výchozích poloh a dojde k zasunutí pneumomotorů 1.0 a 2.0 a zavření všech výklopných dveří.

Rychlost otevírání a zavírání výklopných dveří můžeme regulovat škrticími ventily. Velikost škrcení se nastavuje otáčením ruční matice.

6.1.3 Kontrola propustnosti obvodu

Tímto výpočtem se určí průtoková účinnost mezi zdrojem stlačeného vzduchu a pracovním prvkem. Zahrnujeme do něj hodnoty normálního průtoku, které jsou uváděny v katalogích výrobců prvků. Do výpočtu jsem zahrnul prvky zapojené v jedné větvi. Jsou to jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu, rozváděč, škrticí ventil, šroubení a vedení. Pomocí patřičného výpočtu stanovíme ekvivalentní (náhradní) průtok, který musí být větší nebo roven průtoku pracovních prvků.

$$Q_{Nne} \geq Q_{Nmin} \quad (6.1)$$

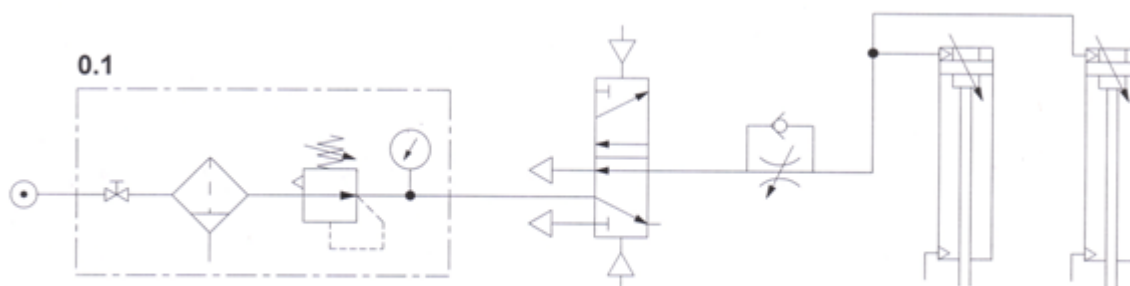
Pokud je uvedená podmínka (6.1) splněna, je volba světlosti hadic, přípojného šroubení a velikosti prvků provedená správně.

Pro sériové řazení prvků bude ekvivalentní náhradní průtok:

$$Q_{Nne} = \sqrt{\frac{1}{\sum_{a=1}^i \frac{1}{Q_{Nni}}}} \quad (6.2)$$

Pro paralelní řazení prvků bude ekvivalentní náhradní průtok:

$$Q_{Nne} = \sum_{a=1}^i Q_{Nni} \quad (6.3)$$



Obr. 10 Pneumatické schéma řídicího obvodu

Prvek [-]	Q_{n_n} [dm ³ .min ⁻¹]	Počet kusů [-]	Pořadí ve vzorci [-]
Rozváděč	1290	1	1
Vedení l=10m	2400	1	2
Jednotka pro úpravu vzd.	1500	1	3
Šroubení (G3/4)	5850	3	4
Šroubení (G1/4)	5850	6	5
Škrticí ventil	1320	1	6

Tab. 1 Soubor prvků ve větvi s pneumomotorem

Výpočet ekvivalentního průtoku pro sériově řazené prvky:

$$Q_{Nne} = \sqrt{\frac{1}{\sum_{a=1}^i \frac{1}{Q_{Nni}}}}$$

$$Q_{Nne} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{1290^2} + \frac{1}{2400^2} + \frac{1}{1500^2} + \frac{3}{5850^2} + \frac{6}{5850^2} + \frac{1}{1320^2}}}$$

$$Q_{Nne} = 697,4 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

- aby obvod vyhovoval, musí platit podmínka (6.10)

$$Q_{Nne} \geq Q_{min}$$

$$697,4 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1} \geq 586,56 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

Podmínka je splněna.

6.1.4 Výpočet teoretického času otevření dveří

Výpočet provedu tak, že ze stavové rovnice nejdříve spočítám průtok při pracovním tlaku. Dosazujeme do něj poloviční hodnotu ekvivalentního průtoku, protože se tento průtok rozděluje k dvěma pneumomotorům. Dále pak spočítám rychlost vysouvání pístnic a nakonec teoretický čas potřebný pro otevření dveří při plně otevřeném škrticím ventilu. Teplota okolí je $T_N = T_1$, proto můžeme stavovou rovnici zjednodušit.

$$Q_P = \frac{Q_{Nne}}{2} \cdot \frac{p_N}{p_a} \quad (6.4)$$

$$Q_P = \frac{Q_{Nne}}{2} \cdot \frac{p_N}{p_{at} + p}$$

$$Q_P = \frac{0,01162}{2} \cdot \frac{1 \cdot 10^5}{6 \cdot 10^5}$$

$$Q_P = 0,000969 m^3 \cdot s^{-1}$$

- rychlost vysouvání pístnic

$$v_s = \frac{Q_P}{S} = \frac{4 \cdot Q_P}{\pi \cdot D^2} \quad (6.5)$$

$$v_s = \frac{4 \cdot 0,000969}{\pi \cdot 0,16^2}$$

$$v_s = 0,0482 m \cdot s^{-1}$$

- teoretický čas otevření dveří

$$t_s = \frac{H}{v_s} \quad (6.6)$$

$$t_s = \frac{0,350}{0,0482}$$

$$t_s = 7,26 s$$

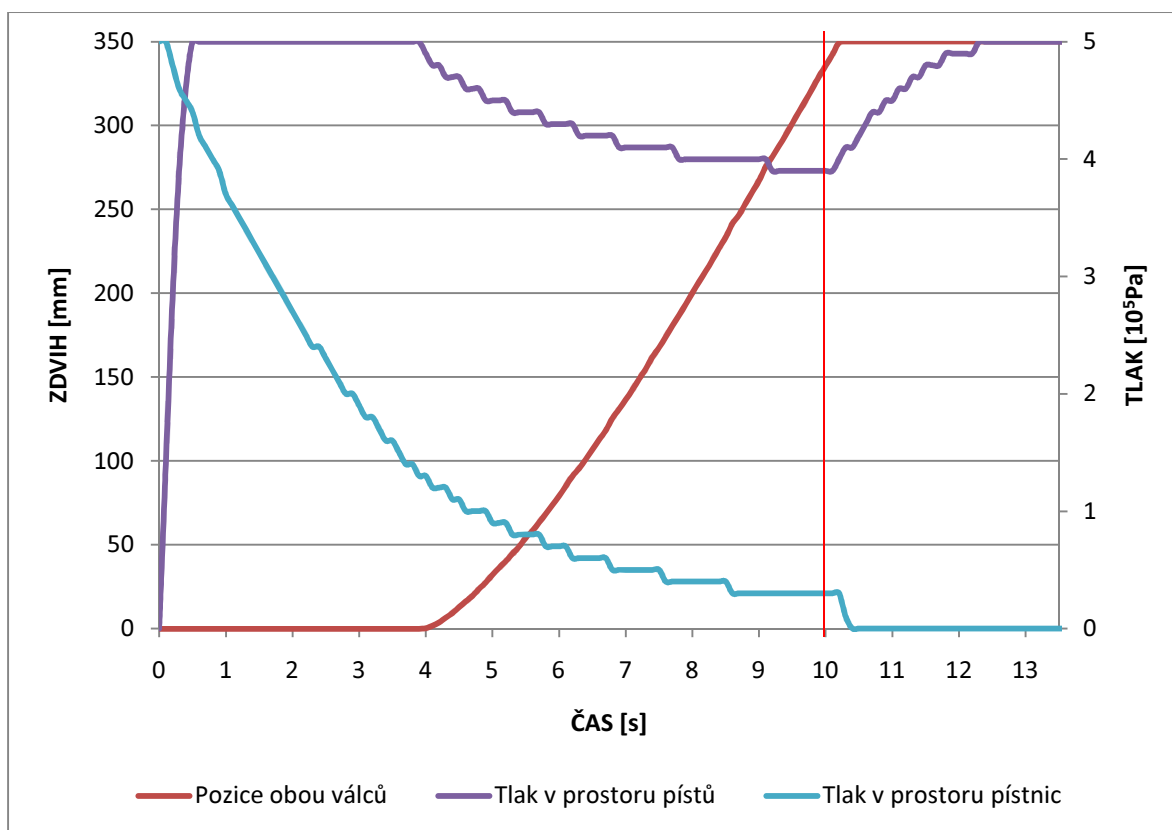
Podle uvedených výpočtů by měl obvod svou funkci splňovat. Ověření provedu simulací obvodu v programu Automation Studio.

6.1.5 Simulace v programu Automation Studio

Tvorbu schémat a simulaci skutečných podmínek na obvodu jsem provedl v programu Automation Studio. Školní verze programu není úplnou verzí a při zadávání parametrů prvků jsem narazil na určitá omezení. Například světlost škrticích ventilů nešla

nastavit na požadovanou světlost, proto jsem simulaci prováděl bez nich. Další omezení bylo v nastavení počtu charakteristik do jednoho grafu. Maximální počet byl pět.

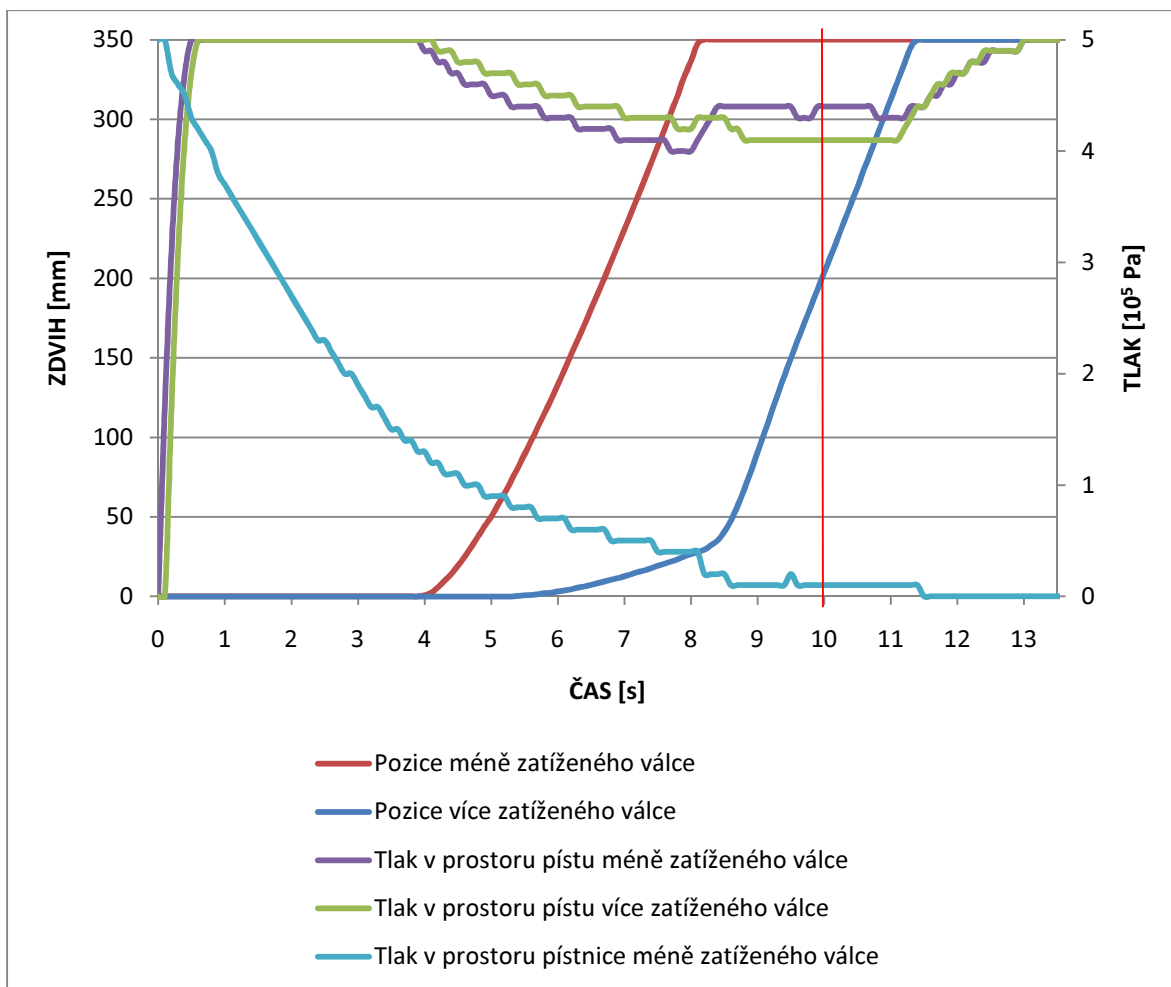
První simulace ověřovala čas otevření dveří pro ideální stav, když byly pneumomotory zatížené stejnou osovou silou 7500N. Simulace byla provedena pro jednu stranu dveří.



Obr. 11 Závislost tlaku a polohy pístu na čase pro jednu stranu dveří

V grafu lze vidět, že oba pneumomotory se otevírají stejnou rychlostí. Koncové polohy (otevřené dveří) dosáhnou přibližně za 10s.

Pneumomotory zřejmě nebudou zařízeny zcela rovnoměrně, proto jsem je zatížil nestejnými osovými silami. Z důvodu nečistot, zatuhnutí se může síla zvýšit. Proti pohybu pístu jednoho pneumomotoru je osová síla nastavena 7300N a proti pístu druhého pneumomotoru působí síla 7800N. Tyto podmínky ukazuje graf na obr. 11.

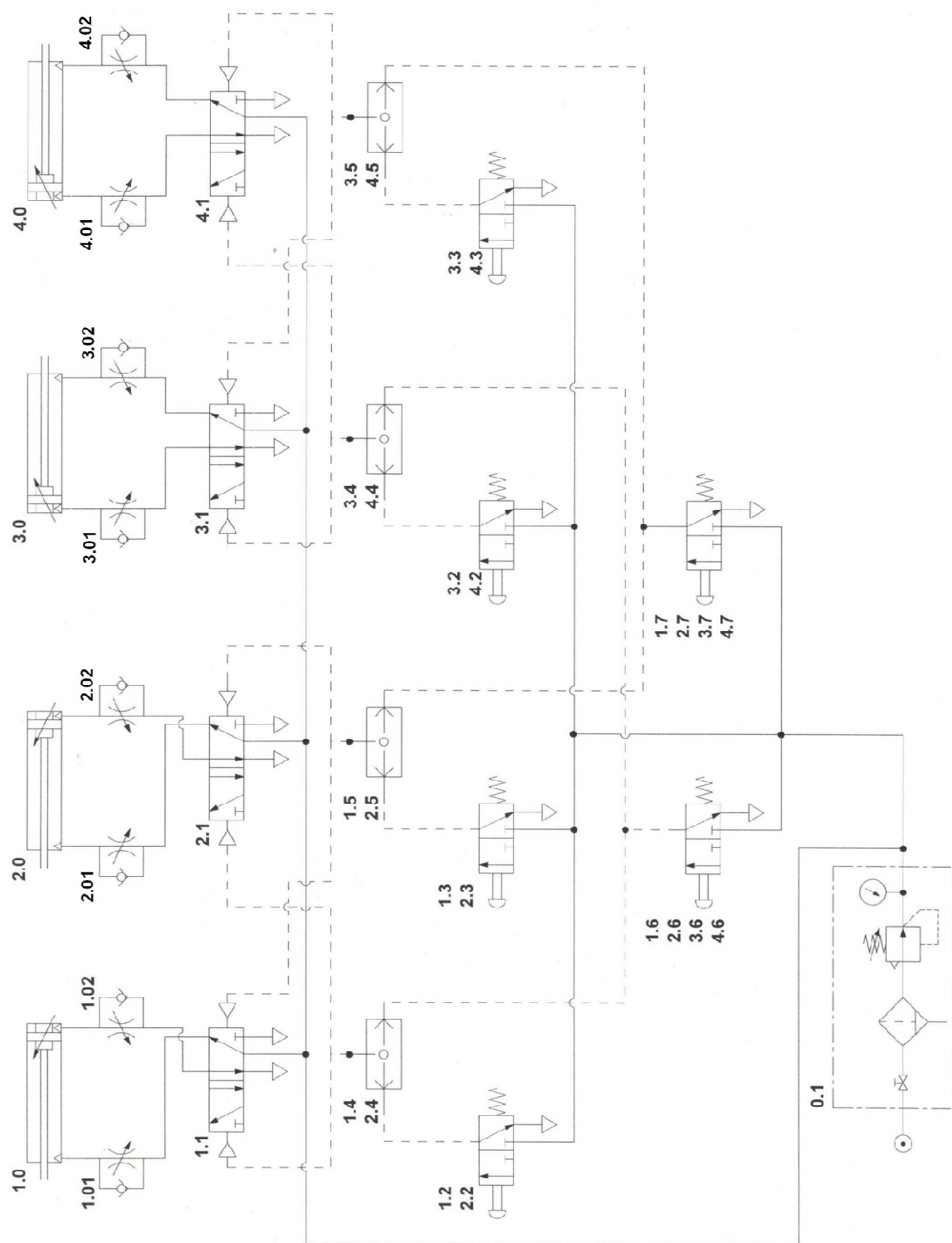


Obr. 12 Závislost tlaku a polohy pístu na čase pro jednu stranu dveří

V grafu lze vidět, že potřebný čas pro otevření dveří na jedné straně je přibližně 11,5s. Závěrečné zhodnocení prvního návrhu je takové, že při otevírání všech čtyř dveří by se celková doba prodloužila a podmínka 10s by nebyla splněna.

6.2 Návrh druhé varianty obvodu

V druhé variantě navrženého obvodu je rozdíl v tom, že pneumomotory nejsou sdruženy do dvojic, ale každý je řízen jedním dvupolohovým, třístavovým rozváděčem ovládaným oboustranně pneumaticky. Pro seřízení rychlosti otevírání a zavírání jsou stejně jako v první variantě použity škrticí ventily. Řídicí část jsem ponechal beze změny. Velikost prvků a světlost vedení jsem ponechal stejné, jako jsem spočítal pro průtok dvěma pneumomotory. Navržený obvod je na obr. 13.



Obr. 13 Schéma pneumatického obvodu

6.2.1 Názvy použitých prvků

- 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 Přímočarý pneumomotor s jednosměrnou pístnicí s oboustranným nastavitelným tlumením.
- 1.1, 2.1, 3.1, 4.1 Pěticestný dvupolohový (5/2) rozváděč, bistabilní, ovládaný oboustranně pneumaticky
- 1.01, 1.02, 2.01, 2.02 Jednosměrný škrticí ventil
- 3.01, 3.02, 4.01, 4.02 Jednosměrný škrticí ventil
- 1.2, 2.2 Třícestný dvupolohový (3/2) rozváděč, monostabilní, ovládaný tlačítkem, v klidové poloze uzavřený, klidová poloha zajištěna pružinou
- 1.3, 2.3 Třícestný dvupolohový (3/2) rozváděč, monostabilní, ovládaný tlačítkem, v klidové poloze uzavřený, klidová poloha zajištěna pružinou
- 3.2, 4.2 Třícestný dvupolohový (3/2) rozváděč, monostabilní, ovládaný tlačítkem, v klidové poloze uzavřený, klidová poloha zajištěna pružinou
- 3.3, 4.3 Třícestný dvupolohový (3/2) rozváděč, monostabilní, ovládaný tlačítkem, v klidové poloze uzavřený, klidová poloha zajištěna pružinou
- (1.4, 2.4), (3.4, 4.4) Logický prvek s funkcí “OR“ – třícestný ventil s jednosměrnou funkcí „bud’-nebo“
- (1.5, 2.5), (3.5, 4.5) Logický prvek s funkcí “OR“ – třícestný ventil s jednosměrnou funkcí „bud’-nebo“
- 0.1 Jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu skládající se z:
- regulátor tlaku
 - filtru s odlučovačem

- tlakoměru
- uzavíracího ventilu

6.2.2 Popis funkce obvodu

Pneumatický obvod (obr. 13) se skládá celkem ze čtyř přímočarých pneumomotorů a každý z nich ovládá jedny výklopné dveře. Tyto pneumomotory jsou řízený dvoupolohovým, pěticestným rozváděčem. Rozváděče jsou řízeny oboustranně pneumaticky.

Otevření výklopných dveří na levé straně provedeme zmáčknutím tlačítkového rozváděče (1.2, 2.2) Ten se přestaví a řídicí signál prochází přes třicestný ventil (1.4, 2.4) řídicím vstupem X. Hlavní rozváděče (1.1 a 2.1) se přestaví a dojde k vysouvání pístu pneumomotorů a tím k otevření dveří na levé straně vagónu. Pro zavření těchto dveří zmáčkne tlačítko rozváděče (1.3 a 2.3). Ten se přestaví a řídicí signál prochází přes třicestný ventil (1.5, 2.5) řídicím vstupem X. Hlavní rozváděče (1.1 a 2.1) se přestaví zpět do výchozí polohy a dojde k zasouvání pístu pneumomotorů a zavření dveří na levé straně.

Stejný postup platí pro otevírání a zavírání výklopných dveří na pravé straně vagónu. Ovládací prvky jsou označeny 3.X a 4X.

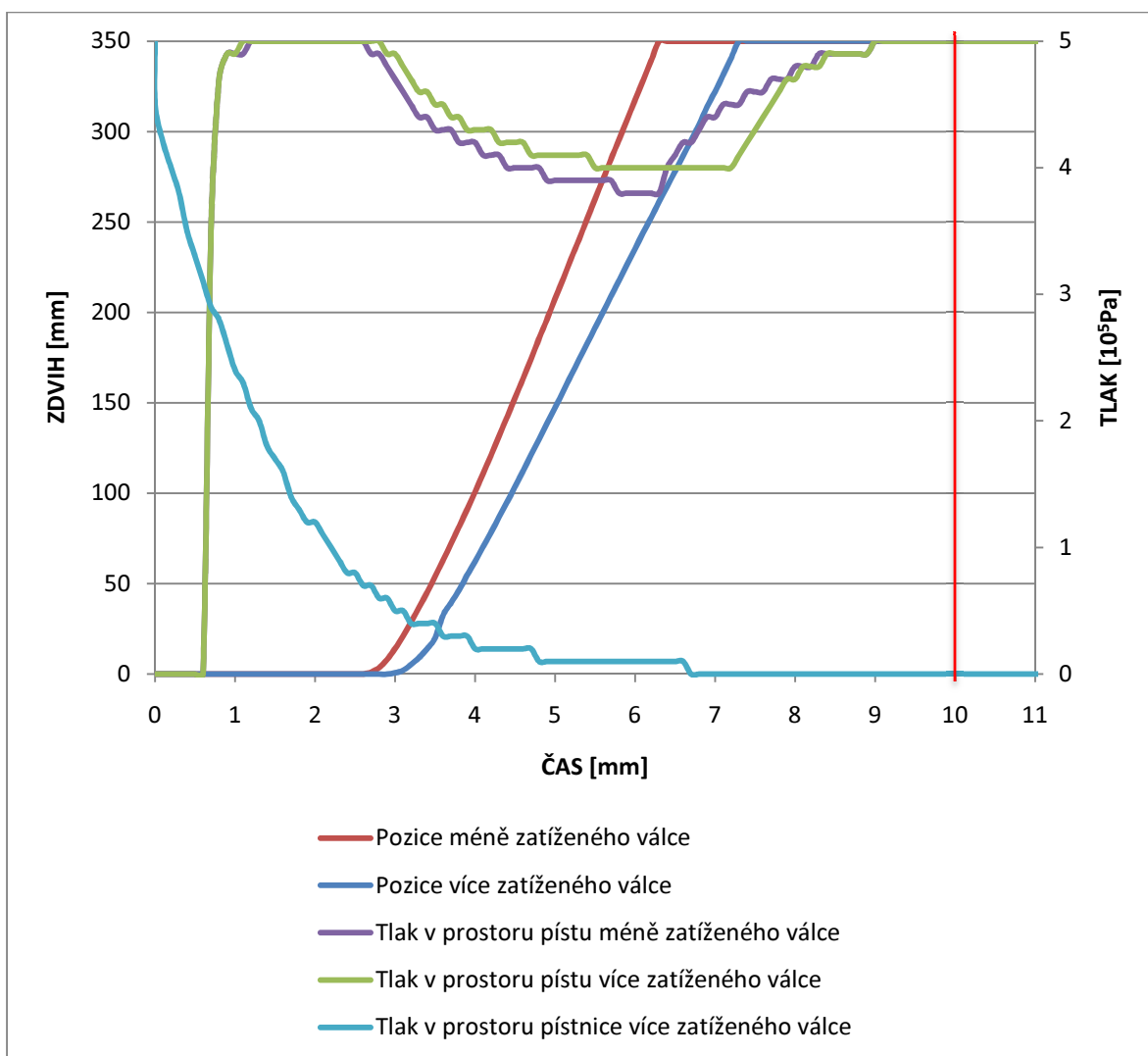
Otevření všech výklopných dveří na vagónu provedeme zmáčknutím tlačítka rozváděče (1.6, 2.6, 3.6, 4.6). Ten se přestaví a řídicí signál prochází přes třicestné ventily (1.4, 2.4 a 3.4, 4.4) řídicím vstupem Y. Hlavní rozváděče (1.1, 2.1, 3.1, 4.1) se přestaví a dojde k vysouvání pístů všech pneumomotorů a otevření dveří na obou stranách vagónu. Zavření dveří provedeme zmáčknutím tlačítka rozváděče (1.7, 2.7, 3.7, 4.7). Ten se přestaví a řídicí signál prochází přes třicestné ventily (1.5, 2.5 a 3.5, 4.5) řídicím vstupem Y. Hlavní rozváděče (1.1, 2.1, 3.1, 4.1) se přestaví zpět do výchozí polohy a dojde k zasouvání pístu pneumomotorů a zavření dveří na obou stranách vagónu.

Rychlost otevírání a zavírání výklopných dveří můžeme regulovat škrticími ventily, které jsou zapojeny pro škrcení na výstupu, viz obr.12. Velikost škrcení se nastavuje otáčením ruční matice.

6.2.3 Simulace v programu Automation Studio

Při simulacích pro druhou variantu návrhu obvodu byly použity stejné prvky jako při simulacích první varianty.

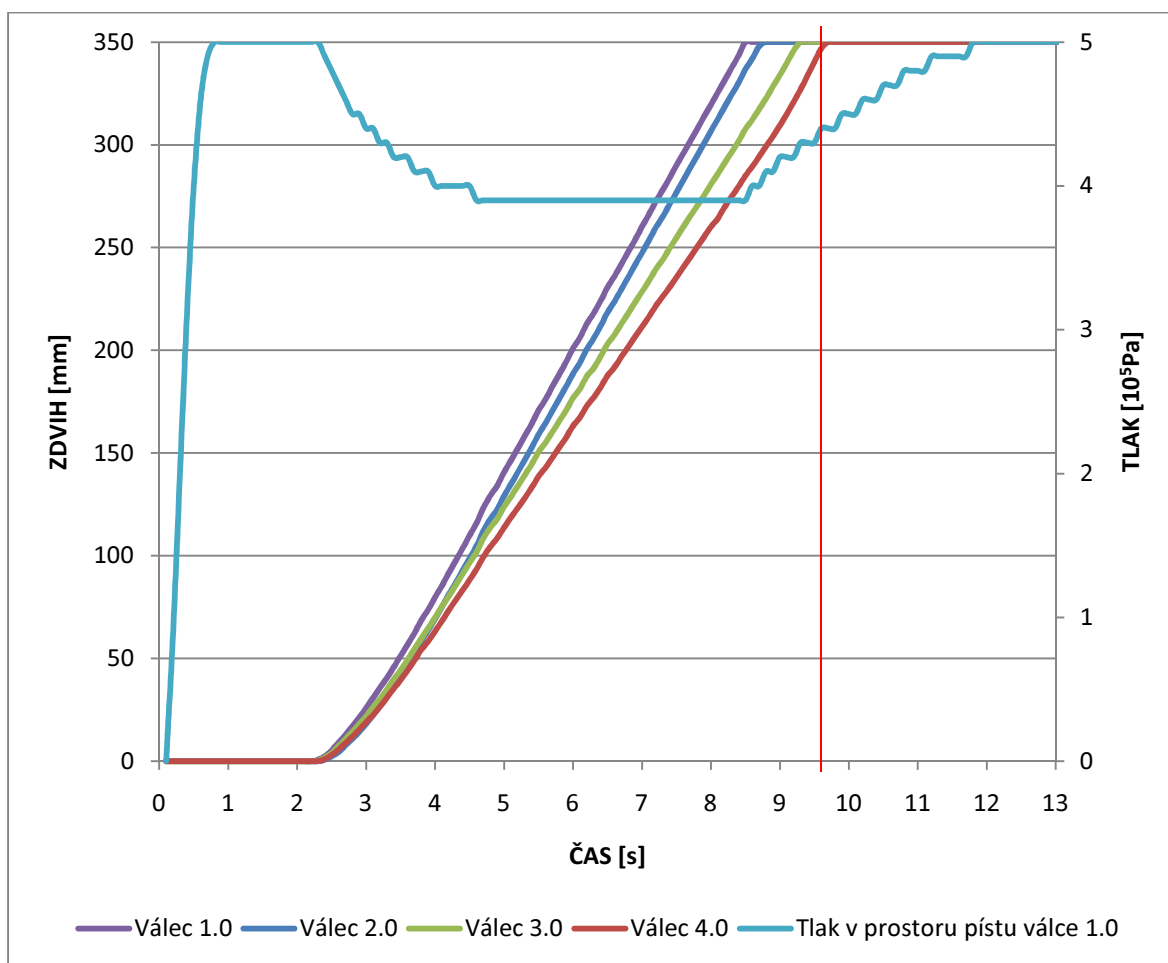
V první simulaci jsem ověřoval čas, za který se otevřou dveře na jedné straně vagónu. Pneumomotory jsem zatížil nestejnými osovými silami. Proti pohybu pístu jednoho pneumomotoru je osová síla nastavena 7300N a proti pístu druhého pneumomotoru působí síla 7500N.



Obr. 14 Závislost tlaku a polohy pístu na čase pro jednu stranu dveří

V grafu lze vidět, že čas potřebný k otevření dveří na jedné straně je přibližně 6,5 sekund pro více zatížený válec.

Další simulací jsem již chtěl ověřit čas, který je potřeba k otevření všech čtyř dveří. Pneumomotory jsem zatížil osovými silami. Velikost zatížení jsem odstupňoval po 100N, aby byly charakteristiky v grafu dobře viditelné a nepřekrývaly se. Maximální dobu otevření 10s jsem v grafu vyznačil svislou červenou čarou. Po zmáčknutí tlačítka rozváděče, který otevírá všechny dveře, začne narůstat tlak na straně pístu v pneumomotech a dojde k jejich vysouvání, obr. 15.



Obr. 15 Závislost tlaku a polohy pístu na čase pro všechny dveře

Podle grafu (obr. 15) je patrné, že podmínka otevření všech výklopných dveří je splněna. Pokud bychom chtěli zkrátit požadovanou dobu otevření dveří, dosáhlo by se toho volbou větších světlostí jednotlivých prvků a hlavně vedení, které svou délkou nejvíce ovlivňuje dobu, za kterou se dveře otevrou.

6.3 Zhodnocení

Druhá varianta návrhu splňuje všechny požadavky, které byly stanoveny v zadání, proto jí pokládám za konečnou verzi obvodu. Nevýhodou oproti prvnímu návrhu je použití většího počtu prvků a zdvojnásobení délky vedení, což bude mít za následek zvýšení pořizovacích nákladů. Specifikace použitých prvků je v další kapitole.

7 Specifikace použitých prvků

Dle zadání, jsem pro navržený obvod vybíral prvky ze sortimentu firmy Parker Hannifin. Po pozdější konzultaci s vedoucím práce bylo původně zadané rozmezí teplot -30°C až $+80^{\circ}\text{C}$ změněno na rozsah teplot -20°C až 60°C . Pro tyto podmínky jsem vybral následující prvky podle [5].

7.1 Pneumomotor

Jedná se o dvojčinný válec s jednosměrnou pístnicí a nastavitelným tlumením v koncových polohách. Je určený pro použití v aplikacích těžkého průmyslu. Pracuje bez nemazaného vzduchu. Možnost použití nejrůznějších senzorů.



Obr 16 Pneumomotor

Typové označení:	P1E-T160MS-0350		
Provozní parametry:	Teplota:	-20°C až 70°C	
	Pracovní tlak:	Max. 10bar (1MPa)	
Připojení:	G3/4		
Příslušenství:	Uchycení:	Pomocí vidlicového držáku MP2, (označení P1C-4SMT)	
Použití v obvodu:	4x		

ø píst/ pístnice	Zdvih	Plocha [cm ²]	Max. teoretická síla v N (bar)					
			5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
160/40	+	201,1	10053	12064	14074	16085	18096	20106
	-	188,5	9425	11310	13195	15080	16965	18850

Tab. 2 Síly působící na pneumomotor

7.2 Rozváděč

Jedná se o rychlý rozváděč pěticestný dvoupolohový (5/2), určený pro použití v transportních aplikacích. Velmi spolehlivý s dlouhodobou životností a tichým chodem. Používaný při velkém rozsahu teplot. Hliníková konstrukce zajišťuje dobrou odolnost proti korozi.



Obr. 17 Rozváděč

Název:	Viking Extreme		
Typové označení:	P2LBX512PP		
Provozní parametry:	Teplota:	-40°C až 60°C	
	Pracovní tlak:	16bar (1,6MPa)	
	Průtok:	21,5 dm ³ /s, (max. 38 dm ³ /s)	
Připojení:	G1/4		
Příslušenství:	Kostka přípoji typ „S“, (označení 9121658064)		
	Montážní deska, (označení 9121658063)		
Použití v obvodu:	4x		

7.3 Řídicí ventil

Jedná se o třícestný dvoupolohový rozváděč, monostabilní, ovládaný tlačítkem. V klidové poloze je uzavřený a klidová poloha je zajištěna vratnou pružinou. Výborná korozivní odolnost díky mosaznému tělu rozváděče.



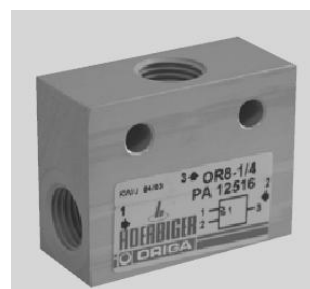
Obr. 18 Řídicí ventil

Název:	VA 13
--------	-------

Typové označení:	VA13-HIS4
Provozní parametry:	Teplota: -20°C až 70°C
	Pracovní tlak: Max. 10bar (1MPa)
	Průtok: 3,6 dm ³ /s, (max. 6,3 dm ³ /s)
Připojení:	G1/8
Použití v obvodu:	6x

7.4 Logický prvek „OR“

V katalogu firmy Parker, jsem nenašel vhodný ventil s logickou funkcí OR. Proto jsem navštívil Parker Store v Ostravě, kde mi byl doporučen katalog firmy Hoerbiger Origa. Tato společnost patří od roku 2008 ke společnosti Parker. V jejich sortimentu nabízených prvků jsem našel vhodný ventil s logickou funkcí „OR“. Jedná se o třicestný ventil s jednosměrnou funkcí „buď-nebo“.

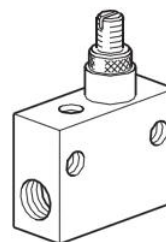


Obr. 19 Třicestný ventil

Název:	OR8 – 1/4
Firma:	Parker Origa
Typové označení:	PA12516
Provozní parametry:	Teplota: -20°C až 80°C
	Pracovní tlak: 0,5 ÷ 10bar (0,05 ÷ 1MPa)
	Průtok: Max. 10,58dm ³ /s
Připojení:	G1/4
Použití v obvodu:	4x

7.5 Jednosměrný škrticí ventil

Jednosměrný škrticí ventil vznikne paralelním zapojením škrticího ventilu a jednosměrného ventilu. Škrčení se provádí otáčením ruční matice.



Obr. 20
Jednosměrný řídicí ventil

Název:	Speed Flow Control Valves VGB		
Typové označení:	VGB 22-Q-O-5		
Provozní parametry:	Teplota:	-20°C až 70°C	
	Pracovní tlak:	10bar (1MPa)	
	Průtok:	22 dm ³ /s	
Připojení:	G1/4		
Použití v obvodu:	8x		

7.6 Jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu

Jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu skládající se z regulačního ventilu, filtru s odlučovačem, tlakoměru a uzavíracího ventilu. Filtrování nečistot od velikosti 5μm. Jednoduchá údržba a obsluha bez potřeby použití nástrojů.



Obr. 21 Jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu

Název:	Moduflex FRLs	úpravu st
Typové označení:	P3HAN12SEMNGB	vzduchu
Provozní parametry:	Teplota:	-20°C až 80°C
	Pracovní tlak:	17bar (1,7MPa)
	Průtok:	25 dm _n ³ /s
	Objem nádoby:	10 cm ³
Připojení:	G1/4	
Příslušenství:	Průhledná nádoba (označení P3HKA00BSS)	
	Šrouby k uchycení	
Použití v obvodu:	1x	

7.7 Vedení

Zvolil jsem vedení z nylonu, které se vyznačuje velkou pevností a odolností proti opotřebení. Je velmi lehké, dobře tlumí vibrace, snadno se sním pracuje pro dokonalou ohebnost, snadno se spojují a rozpojují a z komplexního pohledu je vhodné pro rozsáhlé použití v pneumatických aplikacích.

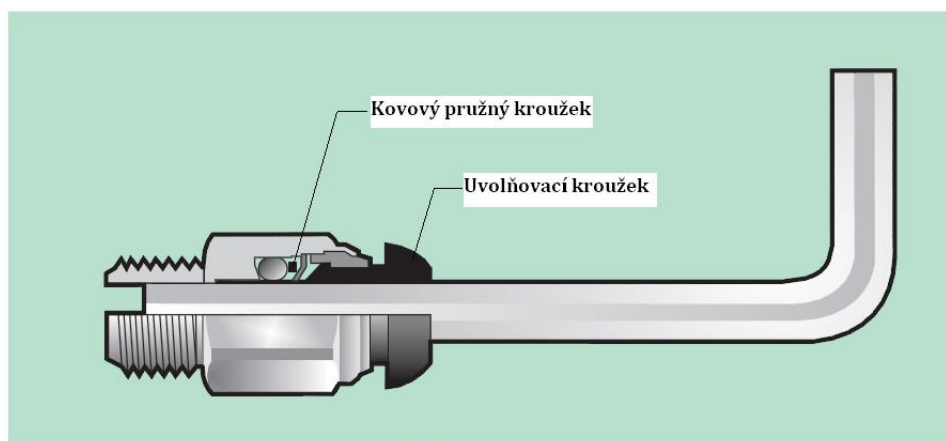
Název:	Flexible tubing
Typové označení:	ø12mm - N12X5/1-25 (délka 25m) ø6mm - N6X1/3-25 (délka 25m)
Provozní parametry:	Teplota: -40°C až 100°C Pracovní tlak: Je závislý na pracovní teplotě. Průtok: 40 dm ³ /s Vnější průměr: 12mm a 6mm Tloušťka stěny: 1mm

Teplota [°C]	-40°C	-20°C	0°C	20°C	40°C	60°C	80°C	90°C	100°C
Pracovní tlak [bar]	11	11	11	11	8	6	5	5	4
Tlak do prasknutí [bar]	33	33	33	33	24	19	16	15	12

Tab. 3 Závislost tlaku na teplotě okolí

7.1 Propojení od zdroje tlaku až k válcům

Spojení vedení od zdroje až k samotným pneumomotorům se realizuje pomocí přípojek. K montáži není potřeba žádných nástrojů a je velmi snadné. Hadice se zasune do přípojky, ve které je bez poškození zachycena speciálním kovovým pružným kroužkem. Uvolnění hadice se provádí zatlačením uvolňovacího kroužku a následným vytažením hadice.

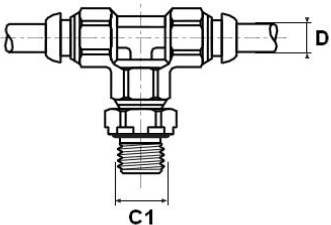



Obr. 22 Řez přípojkou

7.1.1 Silová část

Připojovací místo hlavního přívodu stlačeného vzduchu je R3/4 (podle The British Standard Pipe). Jedná se o trubkový, vnitřní závit s kuželovitostí 1:16 a stálým průměrem. Specifikace kompletního propojení vedení dle [5] a [6], která je seřazená postupně od zdroje tlaku až k válcům je uvedena v tab. 4.

Prvek	Propojovací prvek	Obrázek
Připojovací místo hlavního přívodu vzduchu	<ul style="list-style-type: none"> • Redukce s vnějším kuželovým závitem a vnitřním válcovým závitem • Závit: C1 → R3/4, C2 → G3/8 • Produkt firmy Parker Origa • Objednací č.: LE09041727 • Množství: 1x 	<p>Obr. 23 Redukce</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • Přímé šroubení s válcovým závitem • Závit: C1 → G3/8 • Hadice $\varnothing D = 12mm$ • Produkt firmy Parker • Objednací č.: F4PB12-3/8 • Množství: 1x 	<p>Obr. 24 Přímé šroubení</p>

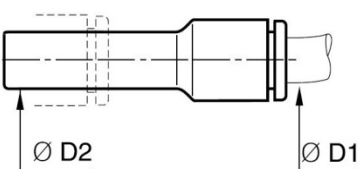
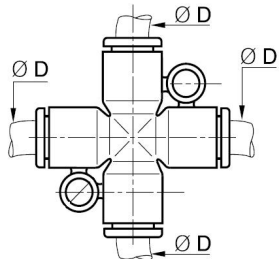
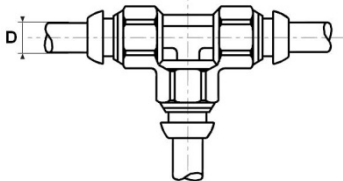
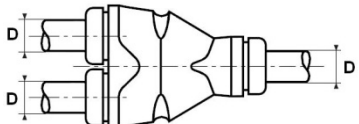
Jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu 0.1	<ul style="list-style-type: none"> • Přímé šroubení s válcovým závitem • Závit: C1→G1/4 • Hadice $\varnothing D = 12mm$ • Produkt firmy Parker • Objednací č.: F4PB12-1/4 • Množství: 1x 	viz. Obr. 24 Přímé šroubení
	<ul style="list-style-type: none"> • T-šroubení s válcovým závitem • Závit C1→G1/4 • Hadice $\varnothing D = 12mm$ • Produkt firmy Parker • Objednací č.: S64PK12-1/4 • Množství: 1x 	 <p>Obr. 25 T-šroubení</p>
Hlavní rozváděče 1.1, 2.1, 3.1, 4.1	<p><u>Pracovní vstupy a výstupy</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Přímé šroubení s válcovým závitem • Závit: C1→G1/4 • Hadice $\varnothing D = 12mm$ • Produkt firmy Parker • Objednací č.: F4PB10-1/4 • Množství: 3x - pro každý rozváděč • Mn. celkem: 12x 	viz. Obr. 24 Přímé šroubení
	<p><u>Ovládací (řídící) vstupy</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Přímé šroubení s válcovým závitem • Závit: C1→G1/4 • Hadice $\varnothing D = 12mm$ • Produkt firmy Parker • Objednací č.: F4PB12-1/4 • Množství: 2x - pro každý rozváděč • Mn. celkem: 8x 	viz. Obr. 24 Přímé šroubení

	<p><u>Výfuky do atmosféry</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Tlumiče ze spěkaného bronzu • Závit: C1→G1/4 • Produkt firmy Parker • Objednací č.: P6M-BAA2 • Množství: 2x - pro každý rozváděč • Mn. celkem: 8x 	 <p>Obr. 22 Tlumič hluku</p>
<p>Škrticí ventily</p> <p>1.01, 1.02, 2.01, 2.02, 3.01, 3.02, 4.01, 4.02,</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Přímé šroubení s válcovým závitem • Závit: C1→G1/4 • Hadice $\varnothing D = 12mm$ • Produkt firmy Parker • Objednací č.: F4PB12-1/4 • Množství: 2x - pro každý ventil • Mn. celkem: 16x 	<p>viz. Obr. 24 Přímé šroubení</p>
<p>Pneumomotory</p> <p>1.0, 2.0, 3.0, 4.0</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Redukce s vnějším kuželovým závitem a vnitřním válcovým závitem • Závit: C1 → R3/4, C2→G3/8 • Produkt firmy Parker Origa • Objednací č.: LE09041727 • Množství: 2x - pro každý válec • Mn. celkem: 8x 	<p>viz Obr. 23 Redukce</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • Přímé šroubení s válcovým závitem • Závit: C1→G3/8 • Hadice $\varnothing D = 12mm$ • Produkt firmy Parker • Objednací č.: F4PB12-3/8 • Množství: 2x - pro každý válec • Mn. celkem: 8x 	<p>viz. Obr. 24 Přímé šroubení</p>

Tab. 4 Specifikace propojení vedení pro silovou část obvodu

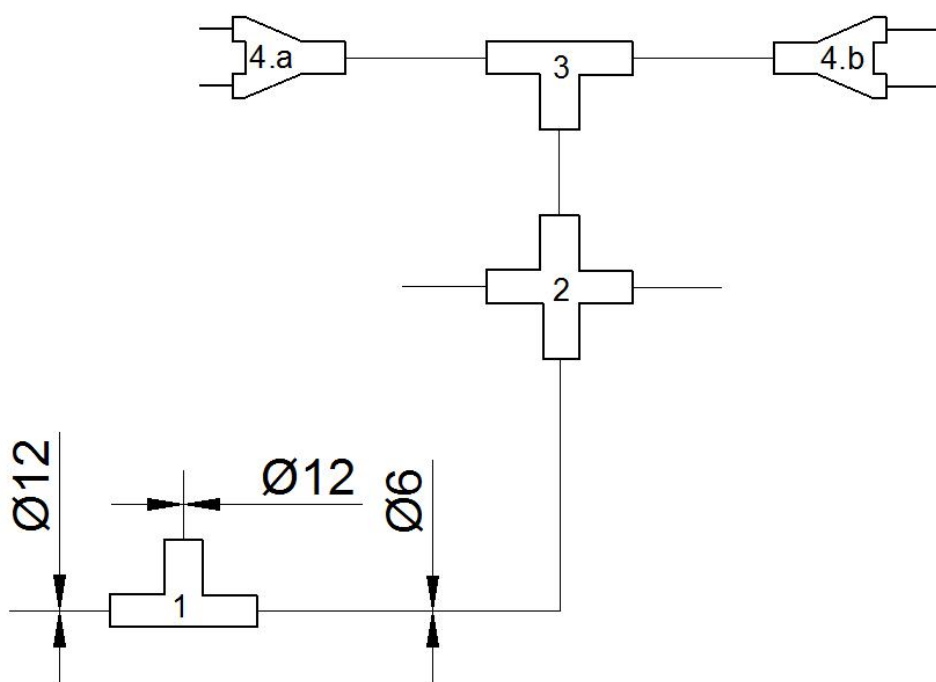
7.1.2 Řídicí část

Pro řídicí část obvodu je použité vedení světlosti 6mm. Musíme použít redukci a snížit světlost z vedení $\varnothing 12\text{mm}$ na $\varnothing 6\text{mm}$. Připojovací místo je za jednotkou pro úpravu stlačeného vzduchu na druhém výstupu z T-šroubení. Schéma rozvětvení vedení je obr. 30.

Prvek	Propojovací prvek	Obrázek
T-šroubení (za jednotkou pro úpravu stlačeného vzduchu)	<ul style="list-style-type: none"> Redukční nástrčné hrdlo $\varnothing D2 = 12\text{mm}$ $\varnothing D1 = 6\text{mm}$ Produkt firmy Parker Origa Objednací č.: LE31660612 Množství: 1x 	 <p>Obr. 27 Redukční nástrčné hrdlo</p>
Rozvětvení vedení	<ul style="list-style-type: none"> Křížové nástrčné šroubení (označení v schématu „2“) $\varnothing D = 6\text{mm}$ Produkt firmy Parker Origa Objednací č.: LE31070600 Množství: 1x 	 <p>Obr. 28 Křížové šroubení</p>
	<ul style="list-style-type: none"> T-nástrčná spojka (označení v schématu „3“) $\varnothing D = 6\text{mm}$ Produkt firmy Parker Objednací č.: JPMK6 Množství: 1x 	 <p>Obr. 29 T-spojka</p>
	<ul style="list-style-type: none"> Y-nástrčná spojka (označení v schématu „4.a, 4.b“) $\varnothing D = 6\text{mm}$ Produkt firmy Parker Objednací č.: YJPMK6 Množství 2x 	 <p>Obr. 30 Y-spojka</p>

<p>Řídicí ventily</p> <p>1.2, 2.2; 1.3, 2.3; 3.2, 4.2; 3.3, 4.3; 1.6, 2.6, 3.6, 4.6; 1.7, 2.7, 3.7, 4.7</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Přímé šroubení s válcovým závitem • Závit: C1→G1/8 • Hadice $\varnothing D = 6mm$ • Produkt firmy Parker • Objednáací č.: F4PMB6-1/8 • Množství: 2x – pro každý ventil • Mn. celkem: 12x 	viz. Obr. 24 Přímé šroubení
	<ul style="list-style-type: none"> • Tlumiče ze spékaného bronzu • Závit: C1→G1/8 • Produkt firmy Parker • Objednáací č.: 9090050700 • Množství: 1x - pro každý ventil • Mn. celkem: 6x 	viz Obr. 26 Tlumič hluku

Tab. 5 Specifikace propojení vedení pro řídicí část obvodu



Obr. 31 Schéma rozvětvení vedení řídicí části

8 Závěr

Mým úkolem v této bakalářské práci bylo navrhnout obvod pro ovládání bočních dveří nákladního vagónu pro transport sypkých hmot.

V úvodu práce jsem se věnoval teoretickému popisu pneumatického ovládání bočních dveří a konstrukci nejpoužívanějšího vozu Falls 11, který můžeme vidět na českých železnicích. Dále jsem se zaměřil na alternativní způsoby otevírání bočních dveří, mezi které patří hydraulické a mechanické (ruční) ovládání.

V následující kapitole se již zaměřuji na samotný návrh pneumatického obvodu. Jsou zde uvedeny výpočty potřebné k správné volbě pneumatického válce, světlosti prvků a vedení. Provedl jsem kontrolu propustnosti silové části obvodu pro první variantu návrhu. K nakreslení a simulaci skutečných podmínek jsem použil program Automation Studio, který nepotvrdil splnění podmínky otevření všech dveří do doby 10s. Z toho důvodu jsem navrhnul druhou variantu obvodu, která již tuto podmínku splnila, a proto ji považuji za konečný návrh pneumatického obvodu. Pro obě varianty návrhu jsem vypsál označení a názvy prvku a popis funkce s detailním chováním prvků.

Poslední kapitola se věnuje specifikaci použitých prvků a také specifikaci propojení od zdroje tlaku až k pneumatickým válcům. Návrh jednotlivých prvků závisel na podmínce, že celý obvod musí pracovat v rozsahu teplot -20°C až 60°C . Prvky jsem vybral výhradně ze sortimentu firmy Parker Hannifin a Parker Origa.

Navržený pneumatický obvod jsem sestavil na trenažéru firmy SMC v laboratoři pneumatiky a prakticky jsem ověřil její funkčnost,

K bakalářské práci jsou přiložena schémata obou variant navrženého obvodu.

9 Seznam použité literatury

- [1] *www.parostroj.cz* [online]. 2006, 13.8.2006 [cit. 2010-05-11]. Vývoj vozů pro přepravu uhlí - zvyšování parametrů. Dostupné z WWW: <http://www.parostroj.net/katalog/nv/clanky/preprava_uhli/preprava_uhli.php3>.
- [2] LASÁK, Josef. *Návod na obsluhu a údržbu : Pro ovládání bočních výsypných klapek vozu řady Falls/Fals*. Vydání 1. Ostrava : [s.n.], 1992. 5 s.
- [3] *Gueterwagen - Correspondenz* . München : [s.n.], 2002. Nr. 89, s. 92. ISSN 0936 - 4412.
- [4] KOPÁČEK, Jaroslav. *Pneumatické mechanismy : Díl I.* I. vydání. Ostrava : VŠB - Technická Universita Ostrava, 1996. 267 s. ISBN 80-7078-306-0.
- [5] PARKER, Hannifin. *Katalog výrobků* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2009 [cit. 2010-05-11]. Dostupné z WWW: <www.parker.com>.
- [6] FLUIDTECHNIK, Bohemia. *Katalog výrobků* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2009 [cit. 2010-05-11]. Dostupné z WWW: <www.fluidbohemia.com>.

10 Seznam příloh

Příloha A – První varianta pneumatického obvodu

Příloha B – Druhá varianta pneumatického obvodu

Příloha C - CD